



МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА И КОММУНИКАЦИЙ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»

ДИСЦИПЛИНА «АРХИТЕКТУРНАЯ ФИЗИКА» • РАЗДЕЛ «АРХИТЕКТУРНАЯ СВЕТОЛОГИЯ»

В. Е. САВЕЛЬЕВ

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ
ПО АРХИТЕКТУРНОЙ ФИЗИКЕ
СВЕТОТЕХНИКА



ГОМЕЛЬ 2019

МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА И КОММУНИКАЦИЙ
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»

Кафедра архитектуры и строительства

В. Е. САВЕЛЬЕВ

АРХИТЕКТУРНАЯ ФИЗИКА. СВЕТОТЕХНИКА

*Рекомендовано учебно-методическим объединением
в сфере высшего образования Республики Беларусь по образованию
в области строительства и архитектуры
в качестве лабораторного практикума для студентов специальности
1-69 01 01 «Архитектура»*

Гомель 2019

УДК 53 (076.5)
ББК 22.3
С12

Рецензенты: заведующий кафедрой архитектуры и строительства д-р архит., профессор *И. Г. Малков*;
профессор кафедры архитектуры и строительства канд. техн. наук *А. А. Васильев* (БелГУТ)

Савельев, В. Е.

С12 Архитектурная физика. Светотехника : лаб. практикум / В. Е. Савельев ; М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2019. – 43 с.
ISBN 978-985-554-844-8

Рассматриваются методики определения характеристик пропускания, отражения света ограждениями и освещенности поверхностей помещений диффузным светом небосвода.

Предназначен для теоретической и практической подготовки студентов специальности «Архитектура» по дисциплине «Архитектурная физика».

УДК 53 (076.5)
ББК 22.3

ISBN 978-985-554-844-8

© Савельев В. Е., 2019
© Оформление. БелГУТ, 2019

СОДЕРЖАНИЕ

Общие сведения.....	4
Лабораторная работа № 1. Определение коэффициентов естественной освещенности помещения в натуральных условиях.....	7
Лабораторная работа № 2. Определение общего коэффициента светопропускания светового проема в натуральных условиях	10
Лабораторная работа № 3. Определение коэффициентов светотражения поверхностей помещения в натуральных условиях	13
Лабораторная работа № 4. Определение коэффициента естественной освещенности при боковом естественном освещении помещения	15
Лабораторная работа № 5. Определение среднего коэффициента естественной освещенности при верхнем естественном освещении помещения.....	18
Лабораторная работа № 6. Определение среднего коэффициента естественной освещенности при комбинированном естественном освещении помещения ...	23
Список использованной литературы	26
Приложение А. Справочные материалы	27
Приложение Б. Методика определения геометрических КЕО	36
Приложение В. Номенклатура светопрозрачных конструкций производственных зданий	42

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Решение задач архитектурной светотехники, главным образом связанных с созданием благоприятной для зрения световой среды помещений, основано на применении физических характеристик электромагнитного сложного излучения в оптическом диапазоне в условных его границах: ультрафиолетового высокочастотного с длинами волн от 10 до 400 нанометров ($1 \text{ нм} = 10^{-9} \text{ м}$), обладающего бактерицидным действием и разрушающим – на многие химические вещества; видимого (длина волн от 400 до 780 нм), воспринимаемого глазом человека как свет и формирующего условия восприятия световой среды; инфракрасного низкочастотного (длина волн от 780 нм до 1 мм) с характерным тепловым действием.

Мощность равномерного светового излучения, оцениваемая по световому ощущению, характеризуется световым потоком Φ в люменах (лм)

$$\Phi = I \omega, \quad (1)$$

где I – сила света в канделах (кд);

ω – телесный угол в стерadians (ср).

Люмен – световой поток, испускаемый точечным источником в телесном угле 1 ср при силе света 1 кд.

Из формулы (1) следует, что для равномерно распределяемого в телесном угле светового потока или его средней величины при неравномерном распределении сила света в канделах (кд)

$$I = \Phi / \omega. \quad (2)$$

Кандела – сила света, излучаемого в перпендикулярном направлении, $1/60000 \text{ м}^2$ поверхности черного тела.

Для оценки освещения обычно используется поверхностная плотность светового потока, падающего на поверхность, равная отношению светового потока Φ к площади освещаемой поверхности S , на которой он распределен. Так как в обычных условиях освещения световой поток неравномерно распределяется на поверхности и освещенность ее неодинакова, уместно

определить ее как среднюю освещенность при равномерном распределении светового потока на поверхности в люксах (лк)

$$E = \Phi / S. \quad (3)$$

Люкс (лк) – освещенность, создаваемая световым потоком в 1 лм, равномерно распределенным на поверхности площадью 1 м².

Свечение источника света и освещаемых поверхностей характеризуется их яркостью, непосредственно воспринимаемой зрением, имеющей существенное значение при оценке качества световой среды. Яркостью L светящейся поверхности в некотором направлении φ называют величину, равную отношению силы света I в этом направлении к площади S проекции светящейся поверхности на плоскость, перпендикулярную данному направлению, т. е. являющуюся поверхностной плотностью силы света в заданном направлении (кд/м²)

$$L = I / (S \cos \varphi). \quad (4)$$

Кандела на квадратный метр равна яркости равномерно светящейся плоской поверхности площадью 1 м² в перпендикулярном к ней направлении при силе света в 1 кд.

Яркость освещенной поверхности зависит от ее освещенности и характера диффузного, направленного или направленно-диффузного отражения этой поверхностью.

Для поверхностей, имеющих одинаковую яркость во всех направлениях, интенсивность их свечения удобно определять как поверхностную плотность светового потока, излучаемого поверхностью, равную отношению светового потока Φ к площади светящейся поверхности S , называемой светимостью R , в лк,

$$R = \Phi / S. \quad (5)$$

Сравнение формул (3) и (5) показывает, что светимость выражается в тех же единицах, что и освещенность. Различие между освещенностью и светимостью заключается лишь в том, что они характеризуются плотностями световых потоков соответственно падающих на поверхность и испускаемых ею.

Неотъемлемым элементом жизненной среды является естественное освещение. Оно оказывает на человека биологическое, психофизическое и эстетическое воздействие, а при его определенной организации является средством не только утилитарного освещения, но и архитектуры.

Световая энергия Q является величиной, равной произведению светового потока Φ на время t , в течение которого получается или воспринимается этот световой поток (лм · с)

$$Q = \Phi t. \quad (6)$$

Люмен-секунда равна световой энергии, соответствующей световому потоку в 1 лм, излучаемому или воспринимаемому за время 1 с.

Естественное природное освещение под полностью открытым небосводом обусловлено прямым солнечным светом, рассеянным (диффузным) светом неба и отраженным от земли. Оно зависит от особенностей светового климата местности, в основном определяемым географической широтой местности, прозрачностью атмосферы, характером облачности и подстилающего слоя территории, времени суток и года. Освещенность, создаваемая прямым солнечным светом, существенно превышает диффузную освещенность и весьма непостоянна во времени. При сплошной облачности освещенность поверхности минимальна и обусловлена в основном диффузным светом небосвода. Условия диффузного наружного освещения были приняты для регламентации естественного освещения в помещениях зданий.

С учетом изменчивости наружного природного освещения, линейной зависимости освещенности в помещении от наружной и постоянства их отношения, особенности субъективного восприятия человеком освещенности, основанной на сравнительной оценке яркости поверхностей помещения и яркости видимого через световой проем небосвода, принято характеризовать освещенность в помещении не в абсолютных единицах, а в относительных – коэффициентах естественной освещенности e (КЕО), определяющих процентное отношение внутренней и наружной освещенностей.

Условия формирования световой среды помещения существенным образом зависят от светового климата местности, расположения светопрозрачных ограждений на наружных поверхностях зданий. С учетом положения и вида световых проемов определены системы бокового, верхнего и комбинированного естественного освещения и его нормирование.

В сложившейся классификации [5] к боковому естественному освещению относят естественное освещение через световые проемы в стенах, к верхнему – естественное освещение через фонари, световые проемы в стенах в местах перепада высот здания, к комбинированному – верхнее и боковое естественное освещение в их сочетании.

Светопроемы бокового освещения обычно обеспечивают более высокую освещенность на вертикальных поверхностях, обращенных к ним, чем на горизонтальных поверхностях, а светопроемы верхнего освещения, как правило, создают более высокую освещенность горизонтальных поверхностей. Существуют различия и в условиях формирования качественных характеристик световой среды помещений различными системами освещения.

Методики определения количественных и качественных характеристик

естественного освещения помещений на основе лабораторных и натуральных измерений достаточно полно приведены в пособиях [1, 2].

В пособии рассматриваются методики практической оценки параметров естественного освещения помещений на основе натуральных измерений и расчетной практики.

Лабораторная работа № 1 ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ ЕСТЕСТВЕННОЙ ОСВЕЩЕННОСТИ ПОМЕЩЕНИЯ В НАТУРНЫХ УСЛОВИЯХ

Цель работы: ознакомление с методикой определения коэффициентов естественной освещенности по данным натуральных измерений освещенностей наружной и на рабочей плоскости помещения; оценка соответствия освещения помещения нормативным требованиям.

Приборы и принадлежности: люксметр, экран-отсекатель отраженного света от фасада здания для наружного фотоэлемента люксметра, штатив для фиксации горизонтального положения фотоэлементов в точках заданной рабочей поверхности, рулетка.

Сведения из теории

Критерием количественной оценки переменного естественного освещения помещений является коэффициент естественной освещенности e (КЕО), представляемый в виде процентного отношения естественной освещенности, создаваемой в некоторой точке заданной плоскости внутри помещения светом неба (непосредственным и после отражений) E_v , к одновременному значению наружной горизонтальной освещенности под полностью открытым небосводом E_n

$$e = (E_v / E_n) \cdot 100. \quad (1)$$

Оценка условий естественного освещения помещений выполняется сравнением нормируемых и фактических значений КЕО в определенных точках рабочей поверхности. В нормах строительного проектирования [5] расчетные точки расположены на пересечении вертикальной плоскости характерного разреза помещения и рабочей поверхности, а при санитарно-гигиенической оценке освещенности – непосредственно на рабочих местах.

Нормированные значения КЕО e_N определяются по формуле

$$e_N = e_n m, \quad (2)$$

где e_n – нормированное значение КЕО, определяемое по таблице А.4,

приложениям В и Г [5];

m – коэффициент светового климата, определяемый по таблице А.3.

Значения e_n устанавливаются для помещений определенного назначения в зависимости от характеристики условий зрительной работы, а значения коэффициента m определяются особенностями условий освещения помещений через световые проемы с учетом светового климата местности, ориентации светопроемов, их вида, системы освещения.

Нормированное значение КЕО в помещении, как правило, должно быть обеспечено:

а) при одностороннем боковом освещении – в расчетной точке, расположенной на пересечении вертикальной плоскости характерного разреза помещения (обычно по средней оси помещения перпендикулярно к наружной стене со светопроемами) в точке рабочей поверхности в глубине или

в середине помещения;

б) при двухстороннем боковом освещении помещения через симметрично расположенные светопроемы – в центре помещения на пересечении вертикальной плоскости характерного разреза и рабочей поверхности, а при несимметричном расположении светопроемов – на том же пересечении плоскостей в точке с наименьшей освещенностью;

в) при верхнем или комбинированном освещении помещений определенного назначения – среднее значение КЕО, определяемое по значениям КЕО ряда точек, расположенных на линии пересечения вертикальной плоскости характерного разреза помещения и рабочей поверхности. Расчетное среднее значение КЕО определяется по значениям КЕО не менее чем для пяти точек, расположенных на одинаковых расстояниях между собой с расстоянием первой и последней из них в 1 м от поверхностей стен (перегородок) или осей колонн. В отдельных случаях последняя точка располагается на расстоянии 1,2 м от поверхности стены, противоположной к стене со светопроемами.

Допускается отклонение фактического значения КЕО от нормируемого не более чем на 10 %.

Методика выполнения работы

Рассматривается методика определения КЕО в расчетных точках рабочей поверхности помещения лаборатории вуза при боковом естественном освещении, план и характерный поперечный разрез которого приведен на рисунке 1.

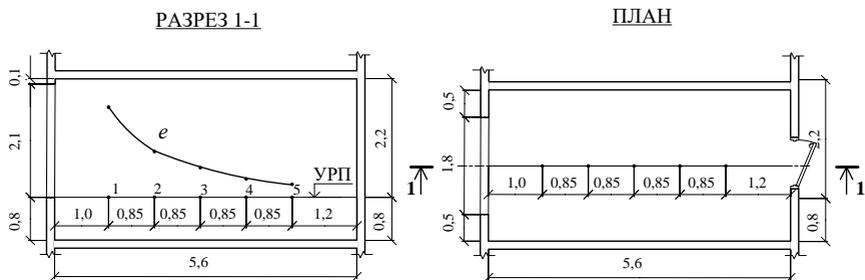


Рисунок 1 – Расположение точек измерения освещенности в помещении

Здесь же указаны уровень рабочей поверхности в соответствии с таблицей Г.1 [5], расположение расчетных точек измерений освещенности в соответствии с п. 5.4 [5].

Ориентация светопроема на северную часть горизонта, обеспечивающая диффузное освещение помещения.

Нормированное значение КЕО e_n в точке 5 помещения составляет 1,2 % в соответствии с таблицей Г.1 [5].

Вспомогательной характеристикой распределения освещенностей в таких помещениях при боковом освещении является неравномерность освещения, определяемая отношением максимального к минимальному значениям КЕО в пределах характерного разреза помещения.

Подробное описание методики измерений освещенности в помещениях и измерительных устройств приведено в работах [1, 2].

Работа выполняется в следующем порядке:

а) изображаются сомасштабные план и характерный разрез помещения с нанесением точек измерения освещенностей;

б) определяется нормированное значение КЕО;

в) измеряются в обоих направлениях одновременные освещенности в точках помещения E_b и снаружи $0,5 E_n$ за окном не менее двух раз с определением освещенности под полностью открытым небосводом E_n , увеличивая в 2 раза средние значения наружной освещенности по данным измерений;

г) по формуле (1) вычисляются значения КЕО в точках помещения;

д) дается оценка соответствия минимального значения КЕО нормированному e_n ;

е) на поперечном разрезе наносится кривая распределения КЕО в точках помещения;

ж) определяется неравномерность освещения помещения.

Результаты измерения освещенностей и определения КЕО приводятся в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты измерения освещенности и расчета КЕО

Точки измерения	Освещенность в помещении $E_{в}$, лк			Наружная освещенность $0,5 E_{н}$, лк			Наружная освещенность $E_{н}^{сп}$, лк	КЕО, % $e = (E_{в}^{сп} / E_{н}^{сп}) \cdot 100$
	Замеры		$E_{в}^{сп}$	Замеры		$0,5 E_{н}^{сп}$		
	1	2		1	2			
1								
⋮								
5								

Неравномерность освещения помещения определяется в виде отношения значения КЕО в точке 1 к значению КЕО в точке 5.

В аналогичной последовательности определяются значения КЕО в помещении со светопроемом, оборудованном регулируемыми солнцезащитными устройствами в виде штор и штор-жалюзи.

Контрольные вопросы

- 1 Основные светотехнические характеристики и их физический смысл.
- 2 КЕО и целесообразность его применения для оценки условий естественного освещения помещений.
- 3 Нормирование естественного освещения при боковом, верхнем и комбинированном освещении.
- 4 Методика натурных измерений освещенностей на наружной и рабочей поверхности помещения.

Лабораторная работа № 2

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЩЕГО КОЭФФИЦИЕНТА СВЕТОПРОПУСКАНИЯ СВЕТОВОГО ПРОЕМА В НАТУРНЫХ УСЛОВИЯХ

Цель работы: ознакомление с приближенной методикой оценки влияния некоторых факторов на светопропускание оконного проема.

Приборы и принадлежности: люксметр, лабораторная установка для определения коэффициентов светопропускания остекления с набором образцов светопрозрачных материалов.

Сведения из теории

Прохождение светового потока через световой проем в помещении сопровождается потерей световой энергии. Эти потери, определяемые рядом факторов, характеризуются общим коэффициентом светопропускания τ_0 , в общем виде вычисляемом по формуле

$$\tau_0 = \tau_1 \tau_2 \tau_3 \tau_4 \tau_5, \quad (1)$$

где τ_1 – коэффициент светопропускания материала оконного заполнения;
 τ_2 – коэффициент, учитывающий потери света в переплетах светопроема (размеры светопроема принимаются равными

размерам

коробки переплета по наружному обмеру);

τ_3 – коэффициент, учитывающий потери света в несущих конструкциях покрытий (при боковом освещении $\tau_3 = 1$);

τ_4 – коэффициент, учитывающий потери света в солнцезащитных устройствах (при отсутствии солнцезащитных устройств $\tau_4 = 1$);

τ_5 – коэффициент, учитывающий потери света в защитной сетке, устанавливаемой под фонарями верхнего света, принимаемый равным 0,9 (при боковом освещении $\tau_5 = 1$).

Значения коэффициентов светопропускания, используемые в расчетах естественного освещения помещений, приведены в таблицах А.6–А.9 данного пособия.

Существенное влияние на прохождение светового потока через светопроем оказывает светопропускание материала оконного заполнения, характеризуемое коэффициентом τ_1 .

В лабораторных условиях точные значения коэффициента τ_1 определяются на специальной установке – фотометрическом шаре [2]. Приближенные значения τ_1 и ориентировочные значения коэффициентов поглощения α , отражения ρ световой энергии светопрозрачных элементов можно определить с помощью установки, приведенной на рисунке 1.

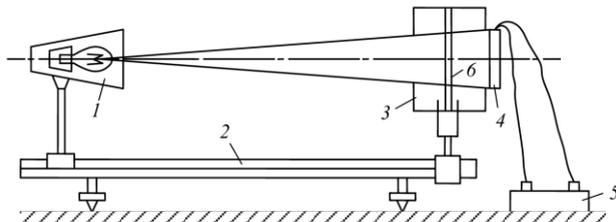


Рисунок 1 – Схема лабораторной установки для определения коэффициентов светопропускания:

1 – источник света; 2 – оптическая скамья; 3 – корпус светоприемника;

4 – фотоэлемент; 5 – люксметр; 6 – испытуемый образец стекла

Количественно отражение, поглощение и пропускание светового потока материалом оценивается соответствующими характеристиками:

– коэффициентом пропускания $\tau = \Phi_\tau / \Phi$; (2)

– коэффициентом отражения $\rho = \Phi_\rho / \Phi$; (3)

– коэффициентом поглощения $\alpha = \Phi_\alpha / \Phi$; (4)

где Φ_τ , Φ_ρ , – соответственно значения прошедшего, отраженного и Φ_α поглощенного светового потока;

Φ – значение падающего светового потока.

По закону сохранения энергии получим равенства

$$\Phi = \Phi_{\tau} + \Phi_{\rho} + \Phi_{\alpha}; \quad (5)$$

$$1 = \tau + \rho + \alpha. \quad (6)$$

В таблице А.1 приведены усредненные коэффициенты τ , ρ , α некоторых материалов.

В натуральных условиях при боковом освещении помещения (см. рисунок 1 лаб. работы № 1) можно определить приближенное значение τ_1 измерениями люксметром освещенностей, создаваемых падающим световым потоком на наружной поверхности остекления E_n , и внутренней E_b в виде соотношения

$$\tau_1 = E_b / E_n. \quad (7)$$

Приближенное значение коэффициента τ_2 вычисляется как отношение площади остекления S_c к общей площади светопроема S_o :

$$\tau_2 = S_c / S_o. \quad (8)$$

Общий коэффициент светопропускания окна без солнцезащитных устройств определяется по формуле

$$\tau_o = \tau_1 \tau_2. \quad (9)$$

Методика измерений

Последовательность определения τ_o оконного проема в натуральных условиях следующая:

а) в условиях постоянства наружной диффузной освещенности для определения коэффициента τ_1 выполнить трехкратные измерения освещенностей на наружной E_n и внутренней E_b поверхностях остекления в центре стекла с изменением порядка измерений, ориентируя рабочую плоскость фотоэлемента люксметра селеновым слоем в направлении небосвода;

б) значение коэффициента τ_2 определяется в соответствии с формулой (8) – подсчетом площади светопроема (в свету) S_o и площади остекления светопроема S_c ;

в) результаты измерений освещенностей E_b и E_n , расчета значений τ_1 , τ_2 и τ_o приводятся в таблице 1 с сопоставительной оценкой расчетных характеристик τ_1 , τ_2 и τ_o по нормам проектирования [5] или таблицам приложения А пособия.

Таблица 1 – Результаты определения характеристик светопропускания светового проема

№ отсчета	Освещенность при положении фотоэлемента, лк		Коэффициенты светопропускания			
	снаружи стекла E_n	за стеклом E_b	$\tau_1 = E_b / E_n$	средний	$\tau_2 = S_c / S_o$	$\tau_o =$

				$\tau_1^{сп}$		$= \tau_1^{сп} \tau_2$
1						
2						
3						

Приближенные значения коэффициента τ_1 для различных видов светопрозрачных материалов можно определить на установке, схема которой приведена на рисунке 1, измерениями люксметром освещенностей $E_{пад}$ и $E_{пр}$, создаваемых падающим на образец материала световым потоком $\Phi_{пад}$ и прошедшим через него $\Phi_{пр}$ через отверстие корпуса светоприемника площадью S по формуле

$$\tau_1 = \Phi_{пр} / \Phi_{пад} = E_{пр} / E_{пад} . \quad (10)$$

Работа выполняется в следующей последовательности:

а) на оптической скамье устанавливается приемное устройство исследуемого образца светопрозрачного материала, размещаемого в корпусе светоприемной камеры на расстоянии 0,5–0,6 м от источника света;

б) в условиях излучения источником света постоянного светового потока измеряются люксметром освещенности при отсутствии и наличии образцов светопрозрачного материала;

в) результаты измерений приводятся в таблице 2 с последующей сопоставительной их оценкой с расчетными значениями τ_1 таблиц приложения А пособия.

Таблица 2 – Результаты определения значений коэффициента τ_1

№ отсчета	Материал	Освещенность, лк		Световой поток, лк		$\tau_1 = \Phi_{пр}/\Phi_{пад} = E_{пр}/E_{пад}$
		$E_{пад}$	$E_{пр}$	$\Phi_{пад}$	$\Phi_{пр}$	

Контрольные вопросы

- 1 Общий коэффициент светопропускания светопроема и его составляющие.
- 2 Составляющие общего коэффициента светопропускания, учитываемые при боковом, верхнем и комбинированном освещении помещения.
- 3 Методика определения общего коэффициента светопропускания светопроема при боковом освещении помещения в натуральных условиях.
- 4 Методика измерительной практики определения светопрозрачности остекления.

Лабораторная работа № 3 ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ СВЕОТРАЖЕНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ ПОМЕЩЕНИЯ В НАТУРНЫХ УСЛОВИЯХ

Цель работы: определение приближенных значений коэффициентов

светоотражения поверхностей помещения различной цветности с оценкой влияния цветовой отделки на условия естественного освещения помещения.

Приборы и принадлежности: люксметр, исследуемая поверхность.

Сведения из теории

Условия формирования световой среды помещений существенно зависят от отражения света его поверхностями, в основном определяемом цветностью и фактурой этих поверхностей, вызывая субъективное ощущение их светлости.

Отраженная составляющая света от поверхности ограждения в виде коэффициента светоотражения ρ в измерительной практике может быть представлена формулой

$$\rho = E_{\text{отр}} / E_{\text{пад}}, \quad (1)$$

где $E_{\text{отр}}$, $E_{\text{пад}}$ – освещенности, создаваемые отраженным от поверхности и падающим на нее световым потоком соответственно.

Приближенные значения коэффициентов светоотражения внутренних поверхностей помещения приведены в таблице А.2 пособия.

Отраженная составляющая света в помещении с учетом коэффициентов светоотражения ρ_i и площадей поверхностей S_i помещения определяется средневзвешенным коэффициентом светоотражения $\rho_{\text{ср}}$ по формуле

$$\rho_{\text{ср}} = \sum \rho_i S_i / \sum S_i. \quad (2)$$

Наиболее точные значения коэффициентов светоотражения могут быть получены на установках типа фотометрического шара [1, 2]. В натуральных условиях для определения приближенных значений коэффициентов светоотражения поверхностей используются методики визуальной сравнительной оценки яркости поверхностей [2] и измерения освещенностей, создаваемых падающим на поверхность и отраженным от нее световым потоком [1].

Количественная оценка условий светоотражения в помещении выполняется сравнением значений $\rho_{\text{ср}}$ по результатам измерений и его расчетного значения для помещений общественных зданий, равного 0,5 [5].

Методика выполнения работы

Точность результатов определения коэффициентов светоотражения поверхностей помещения в натуральных условиях в основном зависит от равномерности освещения поверхностей диффузным естественным светом, минимизации влияния светоотражения от смежных поверхностей на результаты измерений исследуемой и чувствительности фотозлемента люксметра к угловой направленности падающего на его плоскость света.

Например, для люксметра Ю-16 точность показаний освещенности обычно обеспечивается при падении света на плоскость фотоэлемента под углом не более 60° к нормали этой плоскости. Эти условия в определенной мере обеспечиваются на участках поверхностей, удаленных от плоскости светопроема и смежных поверхностей на расстояние 1–1,5 м.

Работа выполняется в следующей последовательности:

а) определяются площади поверхностей помещения (см. рисунок 1 лаб. работы № 1) и положение точек измерений освещенностей;

б) в намеченных точках трижды определяются освещенности на поверхности ограждения и освещенности, создаваемые отраженным от поверхности светом на расстоянии 25 см в створе от точки при положении светочувствительной плоскости элемента в направлении к поверхности ограждения;

в) результаты измерений освещенностей заносятся в таблицу 1 с определением средних значений коэффициентов светоотражения поверхностей $\rho_{срi}$ и последующим расчетом средневзвешенного коэффициента светоотражения помещения $\rho_{ср}$ по формуле (2).

Таблица 1 – Результаты определения освещенностей, коэффициентов светоотражения поверхностей

Цвет и фактура поверхности	Площадь поверхности, м ²	№ отсчета измерений	Отсчеты при положении фотоэлемента		Значения коэффициентов светоотражения поверхностей	
			на поверхности $E_{\text{пад}}, \text{лк}$	против поверхности $E_{\text{отр}}, \text{лк}$	по данным отсчетов на поверхности ρ_i	среднее для поверхности $\rho_{ср}$
		1				
		2				
		3				

По результатам измерений выполняется сравнительная оценка количественных характеристик светоотражения с их расчетными значениями, приведенными в таблице А.2, и проводится анализ влияния цветности поверхностей помещения на условия его освещения.

Контрольные вопросы

1 Коэффициент светоотражения поверхности и факторы, определяющие его величину.

2 Средний коэффициент светоотражения помещения и факторы, определяющие его величину.

3 Обосновать необходимость учета площадей поверхностей помещения при определении его средневзвешенного коэффициента отражения.

4 Методика приближенного определения коэффициентов светоотражения поверхностей в натуральных условиях.

5 Учет светлости (по цвету и фактуре) поверхностей при проектировании помещений определенного назначения с различной ориентацией светопроемов по сторонам горизонта.

Лабораторная работа № 4

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ЕСТЕСТВЕННОЙ ОСВЕЩЕННОСТИ ПРИ БОКОВОМ ЕСТЕСТВЕННОМ ОСВЕЩЕНИИ ПОМЕЩЕНИЯ

Цель работы: овладение измерительной и расчетной практикой определения КЕО крупногабаритных производственных помещений при их боковом освещении.

Приборы и принадлежности: люксметр, экран-отсекатель, справочные таблицы характеристик, используемых для расчета КЕО, сомасштабные поперечный разрез и план помещения.

Сведения из теории

Особенности оценки условий бокового естественного освещения крупногабаритных производственных помещений глубиной более 6 м заключаются в нормировании минимального значения КЕО в точке на условной рабочей поверхности, удаленной от световых проемов [4]:

- на 1,5 высоты от пола до верха световых проемов – для зрительных работ разрядов I–IV;
- 2 высоты – для зрительных работ V–VII разрядов;
- 3 высоты – для зрительных работ VIII разряда.

Традиционной практикой проектирования естественного освещения, основанной на обеспечении нормируемых параметров КЕО в помещении, предусматривается предварительное определение площади светопроемов принятой системы освещения и проверочный расчет КЕО.

Предварительное определение площади светопроемов без учета противостоящих зданий при боковом освещении помещения производится с помощью графика [6], приведенного на рисунке 1.

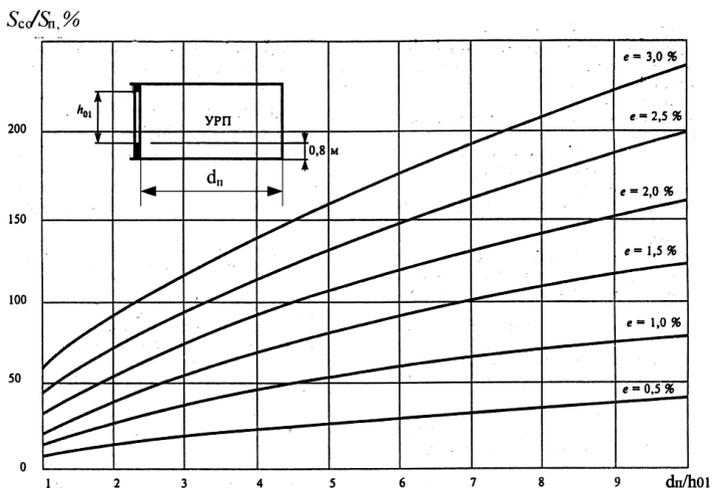


Рисунок 1 – График для определения относительной площади световых проемов $S_{c.o}/S_{п}$ при боковом освещении помещений общественных и производственных зданий

По графику площадь светопроемов $S_{c.o}$ определяется по ее процентному отношению к площади пола $S_{п}$ в зависимости от нормируемого значения КЕО (e_N) и отношения расстояния от наружной стены $d_{п}$ к высоте светопроема над УРП h_{o1} .

По площади светопроемов принимается их конструктивное решение и выполняется проверочный расчет КЕО без учета противостоящей застройки по формуле

$$e_p^{\delta} = \sum_{i=1}^L \varepsilon_{\delta i} \beta_i r_0 \tau_0 / K_3, \quad (1)$$

где L – количество участков небосвода, видимых через световые проемы из расчетной точки;

$\varepsilon_{\delta i}$ – геометрический КЕО в расчетной точке при боковом освещении, учитывающий прямой свет от i -го участка неба, определяемый по графикам I и II А. М. Данилюка, приведенным в приложении Б;

β_i – коэффициент, учитывающий неравномерную яркость i -го участка облачного неба, определяемый по таблице А.11;

r_0 – коэффициент, учитывающий повышение КЕО при боковом освещении благодаря свету, отраженному от поверхностей помещения и подстилающего слоя, прилегающего к зданию, принимаемый по таблице А.10;

τ_0 – общий коэффициент светопропускания при боковом освещении через светопроемы без устройств солнцезащиты

$$\tau_0 = \tau_1 \tau_2, \quad (2)$$

τ_1, τ_2 – коэффициенты светопропускания материала и потерь света в переплетах соответственно, принимаемые по таблицам А.6 и А.7;

K_3 – коэффициент запаса, принимаемый по таблице А.5.

Методика выполнения работы

Предварительно для существующего трехпролетного производственного здания в условиях диффузного наружного освещения определяется КЕО в расчетной точке помещения крайнего пролета с использованием методик определения характеристик τ_0, ρ_{cp}, e в натуральных условиях, приведенных в лабораторных работах 1–3.

Схемы поперечного разреза и плана пролета приведены на рисунке 2.

Выполняется расчет КЕО в рассматриваемой точке на рабочей поверхности помещения с представлением результатов в форме таблицы 1 [6].

Таблица 1 – Результаты расчета КЕО

n_1	N_c	n_2	$\varepsilon_6 = 0,01n_1n_2$	θ	β	τ_0	B/h_1	l_r/B	ρ_{cp}	L/B	r_0	K_3	$e_6 = \varepsilon_6 \beta \tau_0 r_0 / K_3$

При расхождении значений расчетного и нормированного значений КЕО не более чем на 10 % нормируемые условия освещенности обеспечиваются. При большем расхождении результатов уточняется выбор площади и решения светопроемов с соответствующим расчетом.

Сравниваются результаты определения КЕО по данным измерения и расчета. При их расхождении разрабатываются рекомендации по изменению условий естественного освещения в существующем здании.

ПОПЕРЕЧНЫЙ РАЗРЕЗ

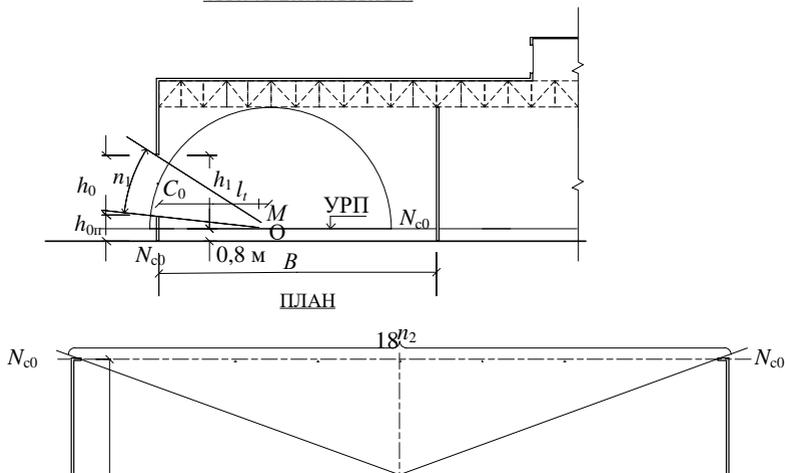


Рисунок 2 – Определение по графикам Данилюка I и II количества лучей n_1 и n_2 , прошедших через боковой световой проем в расчетную точку на поперечном разрезе и плане помещения

Контрольные вопросы

1 Объяснить особенность нормирования естественного освещения крупногабаритного производственного помещения в одной точке рабочей поверхности.

2 Принципы определения размеров и расположения светопроемов.

Лабораторная работа № 5

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СРЕДНЕГО КОЭФФИЦИЕНТА ЕСТЕСТВЕННОЙ ОСВЕЩЕННОСТИ ПРИ ВЕРХНЕМ ЕСТЕСТВЕННОМ ОСВЕЩЕНИИ ПОМЕЩЕНИЯ

Цель работы: овладение измерительной и расчетной практикой определения КЕО крупногабаритных производственных помещений при их верхнем освещении.

Приборы и принадлежности: люксметр, справочные таблицы характеристик, используемые для расчета КЕО, сомасштабные поперечный и продольный разрезы помещения.

Сведения из теории

При верхнем естественном освещении помещений любого назначения нормируется среднее значение КЕО в точках, расположенных на пересечении вертикальной плоскости характерного разреза помещения и условной рабочей поверхности. Первая и последняя точки в количестве не менее пяти принимаются на расстоянии 1,0 м от поверхности стен или осей колонн, а остальные – на равных расстояниях. Неравномерность

естественного освещения не должна превышать отношение среднего к минимальному значениям КЕО – 3:1.

Расчет значений КЕО, как и при боковом освещении, выполняется на стадиях предварительного определения площади светопроемов и проверочного расчета.

Предварительное определение площади световых проемов зенитных и светоаэрационных фонарей производится с помощью графиков, приведенных на рисунках 1, 2.

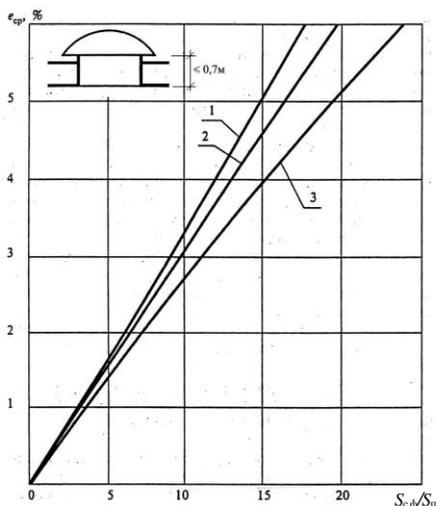


Рисунок 1 – График для определения среднего значения КЕО $e_{ср}$ в помещениях с зенитными фонарями с глубиной проема до 0,7 м и размерами в плане, м:
1 – 2,9×5,9; 2 – 2,7×2,7; 2,9×2,9;
1,5×5,9; 3 – 1,5×1,7

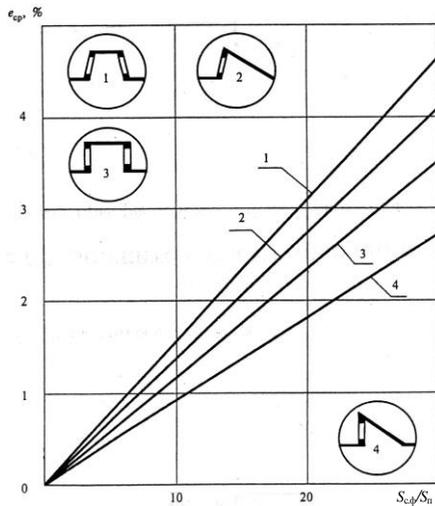


Рисунок 2 – График для определения среднего значения КЕО $e_{ср}$ в производственных помещениях с фонарями: 1 – трапециевидный фонарь; 2 – шед, имеющий наклонное остекление; 3 – прямоугольный фонарь; 4 – шед, имеющий вертикальное остекление

Проверочным расчетом значения КЕО при верхнем освещении помещения через светоаэрационные фонари и боковые проемы верхнего света определяются по формуле

$$e_p^B = \left[\sum_{i=1}^T \varepsilon_{vi} + \varepsilon_{ср} (r_{\phi} K_{\phi} - 1) \right] \cdot \frac{\tau_0}{K_3}, \quad (1)$$

где T – количество световых проемов в покрытии;

ε_{vi} – геометрический КЕО в расчетной точке при верхнем освещении от i -го проема, определяемый по приложению Б;

$\varepsilon_{\text{ср}}$ – среднее значение геометрического КЕО при верхнем освещении на линии пересечения условной рабочей поверхности и плоскости характерного вертикального разреза помещения, определяемое из соотношения

$$\varepsilon_{\text{ср}} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \varepsilon_{\text{в}i}, \quad (2)$$

N – количество расчетных точек;

$r_{\text{ф}}$ – коэффициент, учитывающий повышение КЕО при верхнем освещении, благодаря свету, отраженному от поверхностей стен помещения, определяемый по таблице А.12;

$K_{\text{ф}}$ – коэффициент, учитывающий тип фонаря, определяемый по таблице А.13;

τ_0 – общий коэффициент светопропускания, определяемый по формуле (1) из лабораторной работы № 1 и таблицам приложения А;

K_3 – коэффициент запаса, определяемый по таблице А.5.

Среднее значение КЕО при верхнем или комбинированном освещении определяется по формуле

$$e_{\text{ср}} = \frac{1}{N-1} \left(\frac{e_1 + e_N}{2} + \sum_{i=2}^{N-1} e_i \right), \quad (3)$$

где e_1, e_N – значения КЕО при верхнем или комбинированном освещении в первой и последней точках характерного разреза помещения;

e_i – значения КЕО в остальных точках характерного разреза помещения ($i = 2, 3, \dots, N-1$);

N – количество расчетных точек.

Методика выполнения работы

Предварительно в условиях диффузного естественного освещения существующего трехпролетного здания с прямоугольным светоаэрационным фонарем в среднем пролете, сомасштабные схемы поперечного и продольных разрезов которого приведены на рисунке 3, в общем порядке измерения освещенностей снаружи и в расчетных точках помещения определяются значения КЕО в расчетных точках и его среднее значение, а также его соответствие нормам проектирования.

В соответствии с геометрическими параметрами прямоугольного фонаря, согласованными с его параметрами, приведенными в приложении В с помощью графика рисунка 2, выполняется предварительный расчет необходимой площади светопроемов в следующей последовательности:

а) в зависимости от разряда зрительной работы с учетом светового климата местности определяется нормированное значение КЕО для данного типа фонаря;

б) по типу фонаря и кривой КЕО, соответствующей его нормированному значению, определяют процентное отношение площади светового проема к площади пола $S_{\text{сф}}/S_{\text{п}}$;

в) разделив найденное значение $S_{\text{сф}}/S_{\text{п}}$ на 100 и умножив на площадь пола $S_{\text{п}}$, находят площадь светопроемов в м².

Площадь светопроемов фонарей по графику рисунка 2 определяется для однопролетных зданий.

При недостаточной площади фонаря следует увеличить его высоту до стандартных размеров в соответствии с приложением В, либо принять решение по дополнительному размещению зенитных фонарей больших размеров при их четном количестве и равномерном расположении на покрытии в соответствии с рисунком 3. Значительные размеры фонарей определяются возможностью определения геометрического КЕО по методу Данилюка.

На основе компромиссного решения по организации освещения принимаются конструкции фонарей и выполняется проверочный расчет с представлением результатов расчета в таблице 1.

По значению расчетного КЕО $e_{\text{р}}^{\text{в}}$ в точках определяются среднее значение КЕО $e_{\text{р ср}}^{\text{в}}$ по формуле (3) и неравномерность освещения $e_{\text{р ср}}^{\text{в}} / e_{\text{р min}}^{\text{в}}$.

При использовании фонарей двух типов расчеты производятся отдельно по форме таблицы 1 с суммированием значений $e_{\text{р}}^{\text{в}}$ в точках и определением суммарного и среднего значений КЕО.

По результатам расчета и натурных измерений устанавливается степень соответствия КЕО.

При освещении помещений зенитными и шахтными фонарями малых размеров при их большом количестве следует применить методики расчета КЕО, приведенные в источниках [6, 7].

Таблица 1 – Результаты расчета КЕО в точках помещения

Светопроем и его центр S_{ϕ}	Расчетные точки	Расчетные параметры													
		n_3	N_C	n_2	$\varepsilon_n = 0,01n_3n_2$	$\varepsilon_{\text{всп}} = \sum \varepsilon_{\text{всп}}/5$	H_{ϕ}/B	$\rho_{\text{ср}}$	r_{ϕ}	K_{ϕ}	τ_0	K_3	$\varepsilon_{\text{всп}} = \varepsilon_n \tau_0/K_3$	$\varepsilon_{\text{всп}} = \varepsilon_{\text{всп}}(r_{\phi}K_{\phi} - 1)\tau_0/K_3$	$e^B = \varepsilon_{\text{всп}} + \varepsilon_{\text{всп}}^B$
	1						0,4								
	2						0,4								
	3						0,4								
	4						0,4								
	5						0,4								

Контрольные вопросы

- 1 Дать общую сравнительную оценку условий неравномерности естественного бокового и верхнего освещения помещений.
- 2 Особенности нормирования верхнего освещения помещений.
- 3 Основные положения методик предварительного и проверочного расчетов КЕО при верхнем освещении помещений.
- 4 Условия применимости методики расчета КЕО для светоаэрационных фонарей к расчету КЕО зенитных фонарей.

Лабораторная работа № 6 ОПРЕДЕЛЕНИЕ СРЕДНЕГО КОЭФФИЦИЕНТА ЕСТЕСТВЕННОЙ ОСВЕЩЕННОСТИ ПРИ КОМБИНИРОВАННОМ ЕСТЕСТВЕННОМ ОСВЕЩЕНИИ ПОМЕЩЕНИЯ

Цель работы: овладение расчетной практикой определения КЕО крупногабаритных производственных помещений при их комбинированном освещении.

Приборы и принадлежности: справочные таблицы характеристик, используемых для расчета КЕО, сомасштабный план, поперечный и продольный характерные разрезы помещения.

Сведения из теории

При комбинированном естественном освещении помещений любого назначения нормируется среднее значение КЕО в помещении по результатам суммирования значений КЕО для двух видов освещения в расчетных точках рабочей поверхности. Расчеты значения КЕО в этих точках для комбинированного освещения определяются по формуле

$$e_p^k = e_p^b + e_p^в, \quad (1)$$

где $e_p^b, e_p^в$ – КЕО в расчетных точках, определяемые по формулам из лабораторных работ № 4, 5.

Среднее значение КЕО определяется по формуле (3) лабораторной работы № 5.

Неравномерность освещения e_{cp}^k / e_{min}^k не должна превышать 3 : 1.

Методика выполнения работы

Необходимость в применении комбинированного естественного освещения, как правило, обусловлена значительной глубиной помещения и условиями зрительной работы, требующими обеспечения равномерности освещения рабочих поверхностей.

Пример организации такого освещения при боковом и верхнем освещении через светоаэрационные фонари представлен на сомасштабных изображениях поперечного, продольного характерных разрезах и плане помещения (рисунок 1).

Результаты расчета значений КЕО для каждого из видов освещения представляются в виде таблиц в формах, приведенных ранее с суммированием КЕО в расчетных точках помещения и последующим определением e_{cp}^k и неравномерности освещения.

При верхнем освещении помещений через зенитные фонари небольших размеров и шахтных с различным светоотражением их стенок значения КЕО в расчетных точках определяются по специальным методикам [6, 7].

В ряде случаев организации верхнего и бокового освещения помещений расчет КЕО целесообразно производить в следующей последовательности:

а) принимается тип светоаэрационного фонаря небольшой высоты в связи с ограниченностью их высот стандартных размеров (приложение В);

б) по графику рисунка 2 лабораторной работы № 5 предварительно определяется суммарная площадь проемов фонаря и ориентировочно величина $e_{cp}^в$;

в) по разности КЕО нормируемого комбинированного освещения и $e_{cp}^в$ приближенно принимается требуемая высота и площадь боковых светопроемов, приравнивая эту разность величине КЕО при боковом освещении на расстоянии $l_T = B / 3$ для соответствующего разряда работ по зрительным условиям с использованием рисунка 1 из лабораторной работы № 4;

г) определяются проверочным расчетом значения КЕО при верхнем освещении;

д) исходя из требуемой площади боковых светопроемов, принимается конструкция окон и выполняется проверочный расчет бокового освещения;

е) в результате суммирования значений КЕО в расчетных точках при верхнем и боковом освещении определяется $e_{\text{ср}}^{\text{к}}$;

ж) при значительном расхождении результатов расчета корректируется площадь боковых светопроемов и их решение с последующим проверочным расчетом КЕО;

з) в отдельных случаях увеличивается высота светоаэрационного фонаря, исходя из среднего значения КЕО при боковом освещении помещения, с проверочным расчетом КЕО светового фонаря и $e_{\text{ср}}^{\text{к}}$.

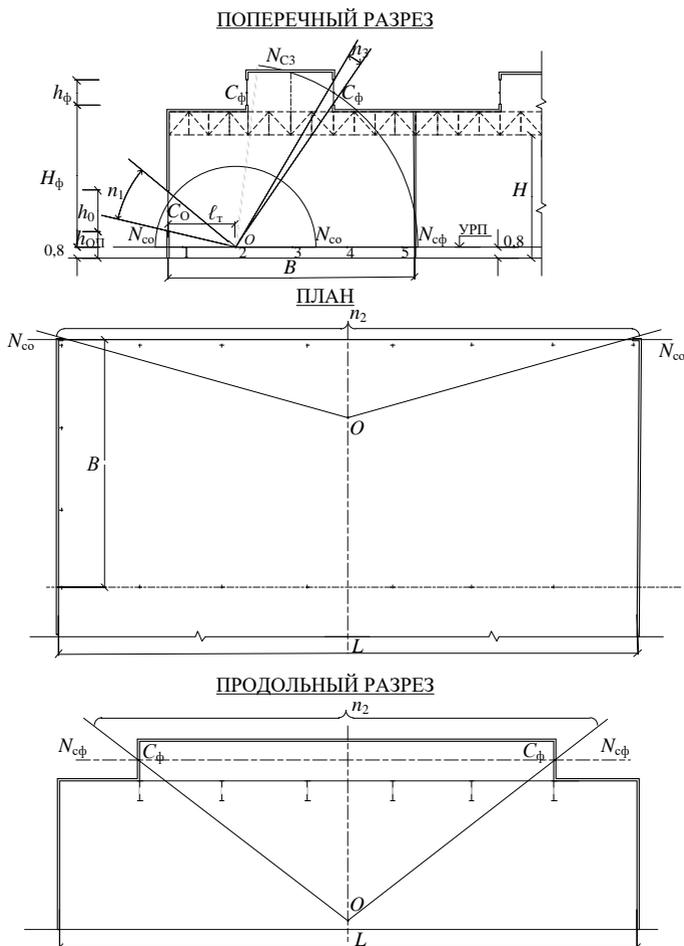


Рисунок 1 – Схемы поперечного и продольных разрезов плана помещения для определения его геометрических размеров и количества лучей n_1 , n_2 и n_3 , проходящих через боковые и верхние светопроемы

Контрольные вопросы

- 1 Необходимость в применении комбинированного естественного освещения помещений.
- 2 Особенности нормирования КЕО при комбинированном освещении помещений.
- 3 Общие положения методики определения КЕО при комбинированном освещении помещений.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 **Дундич, Е. И.** Лабораторный практикум по строительной физике : учеб. пособие для вузов / Е. И. Дундич, В. Ф. Константинов, В. А. Реусова. – Харьков : Харьковский гос. ун-т, 1962. – 192 с.
- 2 Лабораторный практикум по строительной физике : учеб. пособие для вузов / В. А. Обьедков [и др.]. – М. : Высш. школа, 1979. – 221 с.
- 3 **Гусев, Н. М.** Основы строительной физики : учеб. для вузов / Н. М. Гусев. – М. : Стройиздат, 1975. – 440 с.
- 4 Архитектурная физика : учеб. для вузов / В. К. Лицкевич [и др.] ; под ред. Н. В. Оболенского. – М. : Стройиздат, 2003. – 448 с.
- 5 **ТКП 45-2.04-153–2009.** Естественное и искусственное освещение. – Введ. 14.10.2009. – Минск : М-во archit. и стр-ва Респ. Беларусь, 2010. – 101 с.
- 6 **Савельев, В. Е.** Проектирование и расчет естественного освещения помещений: учеб.-метод. пособие / В. Е. Савельев. – Гомель : БелГУТ, 2018. – 53 с.
- 7 Пособие по расчету и проектированию естественного, искусственного и совмещенного освещения (к СНиП II-4-79). – М. : Стройиздат, 1985 – 384 с.

